سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (سال یازدهم / شماره دوم) تابستان ۱۳۹۹
نمایه شده در سایت: پایگاه استنادی علوم جهان اسلام، جهاد دانشگاهی، مگ ایران، نورمگز، سیویلیکا، گوگل اسکولار
آدرس وب سایت : http://girs.iaubushehr.ac.ir

پیش‌بینی پیامدهای تغییر اقلیم بر پراکنش جغرافیایی گون زرد (*Astragalus verus* Olivier) در زاگرس مرکزی

سیما طیموری‌اصل، علی اصغر نقی‌پور، محمدرضا اشرف‌زاده، مریم حیدریان آقاخانی

دریافت: ۲۳ اسفند ۱۳۹۸/ پذیرش: ۱۷ اردیبهشت ۱۳۹۹
دسترسی اینترنتی: ۱۵ تیر ۱۳۹۹

چکیده

پیشینه و هدف اقلیم، ویژگی‌های خاک، توپوگرافی، کاربری سرزمین و مجموعه روابط زیستی مهم‌ترین عوامل مؤثر در پراکنش و آشیان بوم‌شناختی گونه‌ها در مقیاس‌های مختلف هستند. در این میان، اقلیم یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده پراکنش گیاهان محسوب می‌شود. بنابراین، تغییر اقلیم پیامدهای گسترده‌ای بر شرایط اکوسیستم‌های جهان و ازجمله پراکنش گونه‌ها داشته است. تغییر در پراکنش یک‌گونه در یک محدوده جغرافیایی معین به‌واسطه تغییر اقلیم می‌تواند منجر به جابجایی مناطق حضور آن‌گونه به ارتفاعات بالاتر شود که این روند ممکن است ایجاد محدودیت رویشی و یا حتی انقراض گونه را در پی داشته باشد. جابجایی یا تغییر پراکنش جغرافیایی گونه‌ها، یک استراتژی برای پایدار ماندن در برابر تغییر اقلیم است. بنابراین، تعیین رویشگاه‌های مناسب و شناسایی مهم‌ترین عوامل محیطی و انسانی مؤثر بر حضور گونه‌ها در شرایط فعلی و آینده به‌منظور حفاظت از گونه‌های مهم بوم‌شناختی و ارزشمند گیاهی ضروری است. جنس گون (*Astragalus*) از تیره نخود (Fabaceae) پراکنش به نسبت گسترده‌ای در مناطق معتدله جهان دارد. گون زرد (*Astragalus verus* Olivier) درختچه‌ای کوچک و باارزش است که دارای شاخه‌های بسیار زیاد است. این‌گونه علاوه بر نقش حفاظتی، دارای ارزش‌های دارویی و صنعتی است. در دهه‌های اخیر، گستره جغرافیایی گون زرد به‌واسطه عواملی مانند تخریب سرزمین و برداشت بیش‌ازحد به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافته است. باوجود اهمیت جنس گون در کشور، تاکنون پژوهش‌های اندکی درزمینهٔ پیامدهای تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌های این جنس به انجام رسیده است. مطالعه حاضر به‌منظور دست‌یابی به اهداف زیر به انجام رسیده است: ۱) شناسایی رویشگاه‌های مناسب و تعیین پراکنش جغرافیایی گون زرد در زاگرس مرکزی در شرایط حال حاضر؛ ۲) پیش‌بینی پیامدهای تغییر اقلیم تا سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ تحت سناریوهای مختلف بر پراکنش جغرافیایی گون زرد؛ ۳) تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پراکنش این‌گونه.

مواد و روش‌ها مطالعه حاضر در استان چهارمحال و بختیاری با مساحتی حدود ۱/۶۵ میلیون هکتار که تقریباً تمام آن در منطقه زاگرس مرکزی قرارگرفته، انجام شد. تعداد ۱۱۲ نقطه حضور گون زرد بر اساس بازدیدهای گسترده میدانی و با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) در سراسر استان چهارمحال و بختیاری جمع‌آوری شد. به‌منظور مدل‌سازی، ۱۹ متغیر محیطی شامل

سیما طیموری‌اصل [۱]، **علی اصغر نقی‌پور** [۲](✉)، **محمدرضا اشرف‌زاده** [۳]، **مریم حیدریان آقاخانی** [٤]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی مرتع، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
۲. استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
۳. استادیار گروه شیلات و محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
٤. دانش آموخته دکتری علوم مرتع، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: aa.naghipour@nres.sku.ac.ir

متغیرهای زیست‌اقلیمی، فیزیوگرافی و پوشش/کاربری سرزمین مورداستفاده قرار گرفتند. پیش از اجرای مدل‌سازی، برای بررسی هم‌خطی بین متغیرهای محیطی مختلف از دو روش تجزیه‌وتحلیل همبستگی پیرسون و شاخص تورم واریانس (VIF) استفاده شد. متغیرهایی با ضریب همبستگی پیرسون (R^2<۰/۸) و VIF<۳ انتخاب شدند. درنهایت و پس از حذف لایه‌های دارای همبستگی بالا، تعداد نه متغیر در مدل‌سازی استفاده شدند. به‌منظور پیش‌بینی پراکنش رویشگاه‌های مطلوب گون زرد از بسته نرم‌افزاری Biomod2 در محیط R (نسخه ۳.۱.۲) استفاده شد. در مطالعه حاضر از مدل‌های آنتروپی بیشینه (Maxent)، شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، روش افزایشی تعمیم‌یافته (GBM)، مدل خطی تعمیم‌یافته (GLM)، تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر (FDA)، جنگل تصادفی (RF) و رگرسیون چند متغیره تطبیقی (MARS) برای برآورد رویشگاه‌های مطلوب استفاده شد. برای واسنجی مدل‌ها، ۸۰ درصد نقاط حضور به‌عنوان داده‌های تعلیمی و ۲۰ درصد باقیمانده برای ارزیابی پیش‌بینی مدل‌ها استفاده شدند. پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی گون زرد در آینده (سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰) بر اساس چهار سناریوی افزایش گازهای گلخانه‌ای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 و تحت مدل گردش عمومی MRI-CGCM3 انجام شد. عملکرد مدل‌ها نیز با استفاده از ناحیه زیر منحنی (AUC) و آماره TSS ارزیابی شدند.

نتایج و بحث نتایج نشان داد که مؤثرترین متغیرها در مطلوبیت رویشگاه گونه موردمطالعه، به ترتیب شاخص هم‌دمایی، میانگین دمای پربارش‌ترین فصل سال و تغییرات فصلی بارندگی بودند. بر اساس یافته‌ها، بیشترین احتمال حضور گون زرد در هم‌دمایی ۳۶/۸ تا ۳۹/۷ درجه سانتی‌گراد، میانگین دمای ۲- تا ۳/۵ درجه سانتی‌گراد در پربارش‌ترین فصل سال، تغییرات فصلی بارندگی ۱۰۰ تا ۱۱۲ میلی‌متر، و مجموع بارندگی سالیانه ۲۸۰ تا ۴۹۰ میلی‌متر برآورد شد. به نظر می‌رسد بخش‌های شمال شرقی و شرق استان در مقایسه با سایر مناطق از اهمیت رویشگاهی بیشتری برای گون زرد برخوردار هستند. بر اساس نتایج، حدود ۲۷/۴۳ درصد از محدوده موردمطالعه به‌عنوان رویشگاه‌های مطلوب گون زرد شناسایی شد. پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی گون زرد در آینده (سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰) بر اساس چهار سناریوی افزایش گازهای گلخانه‌ای (خطوط سیر غلظت‌های گازهای گلخانه‌ای RCPs) RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 در مدل گردش عمومی MRI-CGCM3 انجام شد. بر اساس یافته‌ها، تغییر اقلیم می‌تواند پیامدهای قابل‌توجهی بر رویشگاه‌های مطلوب گون زرد در استان وارد سازد. بر اساس سناریوهای مختلف، بین ۴۵/۷۰ درصد (RCP2.6، سال ۲۰۵۰) تا ۸۹/۸۸ درصد (RCP8.5، سال ۲۰۷۰) از رویشگاه‌های امروزی گون زرد تا سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ به‌واسطه تغییر اقلیم نامطلوب خواهد شد. درحالی‌که در همین دوره زمانی در حدود ۱/۵۸ (RCP8.5، سال ۲۰۵۰) تا ۱۳/۱۹ درصد (RCP2.6، سال ۲۰۷۰) به رویشگاه‌های مطلوب این‌گونه در مناطق با ارتفاع بیشتر اضافه خواهد شد. بر اساس تمامی سناریوها، رویشگاه‌های مطلوب این‌گونه در اغلب گستره حضورش به‌ویژه در مناطق با ارتفاع کمتر کاهش خواهد یافت. پیامدهای تغییر اقلیم، به‌ویژه احتمال کاهش و جابجایی گستره جغرافیایی گونه‌های گیاهی در رویشگاه‌های مختلف کشور، ازجمله در زاگرس مرکزی و همچنین، در گستره ایران مرکزی پیش‌بینی‌شده است. ارزیابی‌ها نشان داد که مدل‌ها از درستی و دقت قابل قبولی برخوردار بودند و مدل جنگل تصادفی، قابل‌اعتمادترین مدل برای پیش‌بینی پراکنش گونه تعیین شد.

نتیجه‌گیری این مطالعه نشان می‌دهد که مدل اجماعی می‌تواند پراکنش بالقوه گون زرد را با دقت بالا (AUC=۰/۹۲ و TSS=۰/۷۹) پیش‌بینی نماید. سناریوهای مورداستفاده در این پژوهش، احتمال جابجایی گستره جغرافیایی گونه موردمطالعه را تحت تغییر اقلیم تا سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ پیش‌بینی می‌کند. بر اساس نتایج، به نظر می‌رسد که وسعت رویشگاه مطلوب گون زرد در محدوده موردمطالعه، کاهش‌یافته و به سمت ارتفاعات بالاتر جابجا خواهد شد. اگرچه تخریب سرزمین و برداشت بیش‌ازحد احتمالاً به‌عنوان دو عامل مهم تخریب رویشگاه این‌گونه می‌توانند موردتوجه قرار گیرند، اما این مطالعه اهمیت پیامدهای تغییر اقلیم بر پراکنش گون زرد را برجسته می‌سازد. امروزه، درنتیجه بهره‌برداری شدید و غیراصولی از گون زرد، گستره پراکنش و تراکم آن در برخی مناطق کاهش‌یافته است که این روند برشدت پدیده‌هایی نظیر فرسایش خاک افزوده است. این موضوع ضرورت توجه مدیران و کارشناسان منابع طبیعی به گون زرد و دیگرگونه‌های با عملکرد مشابه در اکوسیستم‌ها که ضمن توانایی حفاظت از خاک، ازنظر تولیدات اقتصادی نیز حائز اهمیت هستند را دوچندان می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: چهارمحال و بختیاری، مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای، خطوط سیر غلظت‌های گازهای گلخانه‌ای، مدل‌سازی اجماعی

مقدمه

مجموعه شرایطی که گونه بتواند در آن زندگی کند و به‌صورت موفق، بقا و تولیدمثل داشته باشد، آشیان اکولوژیک گونه نامیده می‌شود (۲۶). آشیان اکولوژیک نقش مهمی در توضیح منشأ گونه، پایداری، پراکنش و توانایی رقابتی آن دارد (۴۲). اقلیم، ویژگی‌های خاک، توپوگرافی، کاربری سرزمین و مجموعه روابط زیستی مهم‌ترین عوامل مؤثر در پراکنش و آشیان بوم‌شناختی گونه‌ها در مقیاس‌های مختلف هستند (۴۸). در این میان، اقلیم یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده پراکنش گیاهان محسوب می‌شود. بنابراین، تغییر اقلیم پیامدهای گسترده‌ای بر شرایط اکوسیستم‌های جهان و ازجمله پراکنش گونه‌ها داشته است (۱۶). تغییر در پراکنش یک‌گونه در یک محدوده جغرافیایی معین به‌واسطه تغییر اقلیم می‌تواند منجر به جابجایی مناطق حضور آن‌گونه به ارتفاعات بالاتر شود که این روند ممکن است ایجاد محدودیت رویشی و یا حتی انقراض گونه را در پی داشته باشد. جابجایی یا تغییر پراکنش جغرافیایی گونه‌ها، یک استراتژی برای پایدار ماندن در برابر تغییر اقلیم است (۲۵ و ۳۵). علاوه بر این، فعالیت‌های انسانی باعث تکه‌تکه شدن رویشگاه‌ها و احتمالاً شدت گرفتن پیامدهای منفی تغییر اقلیم می‌شود (۴۵). اثرات روزافزون این عوامل محیطی و فعالیت‌های انسانی بر گیاهان، ضرورت شناسایی مناطق حضور گونه‌های باارزش را به‌منظور تدوین و اجرای رویکردهای حفاظتی و احیا افزایش می‌دهد (۱۵، ۲۷ و ۴۰). بنابراین، تعیین رویشگاه‌های مناسب و شناسایی مهم‌ترین عوامل محیطی و انسانی مؤثر بر حضور گونه‌ها در شرایط فعلی و آینده به‌منظور حفاظت از گونه‌های مهم بوم‌شناختی و ارزشمند گیاهی ضروری است (۱۲).

مدل‌های پراکنش گونه‌ای (SDM) مکان‌های بالقوه حضور گونه‌ها را با توجه به شرایط محیطی که گونه در آن حضور دارد پیش‌بینی می‌نمایند (۲۰ و ۳۴). همچنین، مدل‌های پراکنش گونه‌ای با پیش‌بینی اثرات تغییر شرایط محیطی ازجمله تغییر اقلیم، اهمیت زیادی در توسعه رویکردهای کارآمد مدیریتی و حفاظتی دارند (۸). پژوهش‌های متعدد نشان داده‌اند که استفاده از الگوریتم‌های مختلف در فرایند مدل‌سازی ممکن است نتایج و پیش‌بینی‌های متفاوتی را به دست دهند. بنابراین، شناسایی و انتخاب یک الگوریتم مناسب، بسیار دشوار و اما مهم است (۳۸). برای غلبه بر این محدودیت‌ها، یک‌راه حل علمی، استفاده هم‌زمان از چندین الگوریتم در چهارچوب مدل‌سازی اجماعی است، که از طیف گسترده‌ای از رویکردها برای مقایسه الگوریتم‌های مختلف مدل‌سازی استفاده می‌کند (٤).

جنس گون (*Astragalus*) از تیره نخود (Fabaceae) پراکنش به نسبت گسترده‌ای در مناطق معتدله جهان دارد (۳٦). ایران به‌عنوان مرکز اصلی گونه‌های مختلف جنس گون به شمار می‌رود. تاکنون بیش از ۸۰۰ گونه از جنس گون در کشور شناسایی‌شده است، که در حدود ٦۰ درصد آن‌ها بومی ایران هستند و ۱۱ درصد از فهرست گیاهان کشور را تشکیل می‌دهند (۱۹). گون زرد (*Astragalus verus* Olivier) درختچه‌ای کوچک و باارزش است که دارای شاخه‌های بسیار زیاد است. این‌گونه علاوه بر نقش حفاظتی، دارای ارزش‌های دارویی و صنعتی است (٦). این‌گونه نوعی کتیرا (صمغ) طبیعی تولید می‌کند که در صنایع مختلف مانند داروسازی، آرایشی، زیبایی و رنگ پارچه مورداستفاده قرار می‌گیرد. ایران، با تولید بیش از ۵۰ درصد کتیرای جهان، به‌عنوان مهم‌ترین کشور تولیدکننده کتیرا شناخته می‌شود (٤٦). در دهه‌های اخیر، گستره جغرافیایی گون زرد به‌واسطه عواملی مانند تخریب سرزمین و برداشت بیش‌ازحد به‌طور قابل‌توجهی کاهش‌یافته است (۳۷).

باوجود اهمیت جنس گون در کشور، تاکنون پژوهش‌های اندکی در زمینه پیامدهای تغییر اقلیم بر پراکنش گونه‌های این جنس به انجام رسیده است. به‌عنوان نمونه، ترکش و جتشکه (٤۳) اثرات بالقوه تغییر اقلیم را بر پراکنش جغرافیایی گونه *A. gossypinus* در استان اصفهان بررسی نمودند. یافته‌های آن‌ها نشان داده است که گستره پراکنش جغرافیایی گونه موردمطالعه علاوه بر کاهش، احتمالاً به سمت شمال شرق استان جابجا خواهد شد. حیدریان (۲۱) پیامدهای تغییر اقلیم (تا سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰) را بر پراکنش گون گزی (*A. adscendens*) در

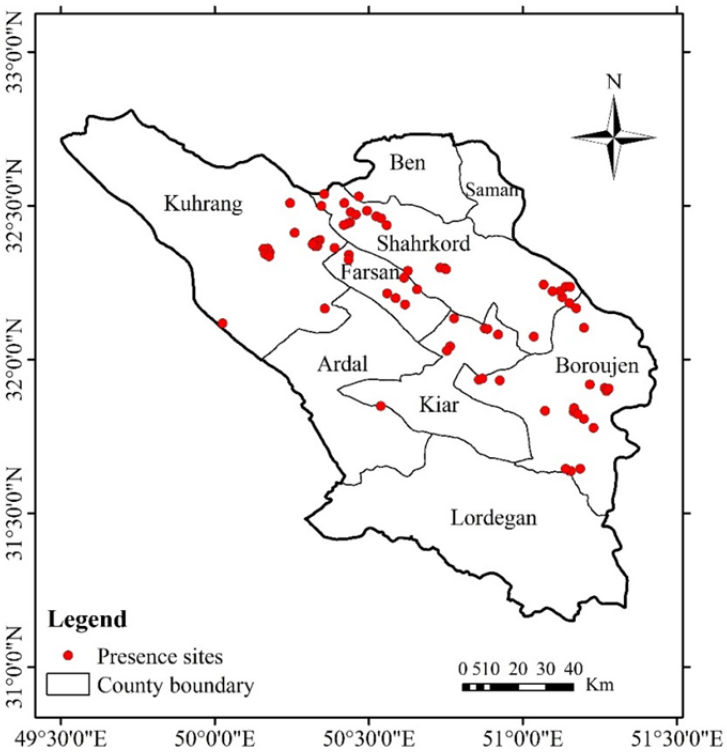
زاگرس مرکزی بررسی نمود. این مطالعه برآورد نموده است که علاوه بر کاهش بین ۷۲/۵ تا ۸۹/۷ درصدی وسعت رویشگاه گون گزی، گستره جغرافیایی این‌گونه به‌طور متوسط در حدود ۵۰ تا ۹۰ متر به ارتفاعات بالاتر جابجا خواهد شد. در مطالعه‌ای دیگر، صفایی و همکاران (۳۷) رویشگاه بالقوه گون زرد را با استفاده از سه مدل همبستگی در غرب استان اصفهان تعیین نمودند. ایشان بر اهمیت رویکرد مدل‌سازی به‌منظور شناسایی مناطق مطلوب جهت احیاء و حفاظت از گونه‌های بومی باارزش و در معرض خطر تأکید نمودند.

هدف از این مطالعه، شناسایی رویشگاه‌های مناسب و تعیین پراکنش جغرافیایی گون زرد در زاگرس مرکزی در شرایط حال حاضر، پیش‌بینی پیامدهای تغییر اقلیم تا سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ تحت سناریوهای مختلف بر پراکنش جغرافیایی گون زرد و تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پراکنش این‌گونه در منطقه موردمطالعه است.

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

مطالعه حاضر در استان چهارمحال و بختیاری با مساحتی حدود ۱/۶۵ میلیون هکتار که تقریباً تمام آن در منطقه زاگرس مرکزی در مختصات جغرافیایی "۰ '۰ °۳۱ تا "۰ '۰ °۳۳ عرض شمالی و "۰ '۳۰ °۴۹ تا "۰ '۳۰ °۵۱ طول شرقی انجام شد (شکل ۱). این استان ازنظر تنوع زیستی و ارزش اکولوژیکی اهمیت بالایی دارد. دامنه ارتفاعی در این استان بین ۷۸۳ تا ۴۱۷۸ متر از سطح دریا متغیر است و بیش از ۸۵ درصد مساحت آن را کوه‌ها و تپه‌ها پوشانده‌اند. میانگین دمای سالانه از ۵ درجه سانتی‌گراد در بخش‌های مرکزی تا ۱۶ درجه سانتی‌گراد در بخش‌های غربی متغیر بوده و میانگین دمای استان حدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد است. بارش متوسط سالانه این استان حدود ۵۶۰ میلی‌متر است و این بارش‌ها در مناطق مرتفع عمدتاً به‌صورت برف است (۳۱).



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی (استان چهارمحال و بختیاری) به همراه توزیع نقاط مورداستفاده حضور گون زرد در این مطالعه

Fig 1. Location of the study area (Chaharmahal va Bakhtiari province) and distribution of *A. verus* presence sites in the study area

جمع‌آوری داده‌های حضور گونه

تعداد ۱۱۲ نقطه حضور گون زرد بر اساس بازدیدهای گسترده میدانی و با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) در سراسر استان چهارمحال و بختیاری جمع‌آوری شد. در هنگام ثبت نقاط حضور گونه، سعی شد مناطقی به‌عنوان محل حضور در نظر گرفته شوند که حداقل یک لکه به مساحت یک کیلومترمربع را تحت پوشش قرار داده باشد. به‌منظور کاهش خودهمبستگی مکانی، نقاط حضور تکراری در فاصله کمتر از یک کیلومتر حذف شدند. درنهایت، با توجه به شرایط ذکرشده، ۷۳ نقطه برای مدل‌سازی پراکنش گونه استفاده شد.

متغیرهای محیطی

در مطالعه حاضر، مدل‌سازی‌ها در دوره زمانی پایه (حال حاضر) و دو دوره زمانی آینده (سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰) انجام شد. تعداد ۱۹ متغیر زیست‌اقلیمی مشتق شده از دما و بارش (Bio1-Bio19) و لایه مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه موردمطالعه به صورت ریزمقیاس شده با دقت ۳۰ ثانیه (حدود یک کیلومتر) از پایگاه اطلاعاتی Worldclim (www.worldclim.org) دریافت شد. داده‌های دانلود شده متغیرهای اقلیمی (Bio1-Bio19) برای زمان حال حاضر مربوط به میانگین دوره زمانی ۲۰۰۰-۱۹۷۰ بوده و برای سال ۲۰۵۰ میانه‌سال‌های ۲۰۶۰-۲۰۴۰ و برای سال ۲۰۷۰ میانه‌سال‌های ۲۰۸۰-۲۰۶۰ است. با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاع در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نقشه های درصد شیب و جهت شیب تولید شد و به همراه ارتفاع به عنوان متغیرهای فیزیوگرافی مورداستفاده قرار گرفت. همچنین، داده های پوشش/کاربری سرزمین از لایه تهیه شده توسط سازمان جنگل ها، مراتع و آبخیزداری کشور استخراج شد. تمامی لایه‌های محیطی ازنظر محدوده، تعداد پیکسل و سیستم تصویر در نرم‌افزار ArcGIS یکسان‌سازی شدند. پیش از اجرای مدل‌سازی، برای بررسی هم‌خطی بین متغیرهای محیطی مختلف از دو روش تجزیه‌وتحلیل همبستگی پیرسون و شاخص تورم واریانس (VIF) استفاده شد. متغیرهایی با ضریب همبستگی پیرسون (R^2 <۰/۸) و VIF<3 انتخاب شدند. درنهایت و پس از حذف لایه های دارای همبستگی بالا، تعداد نه متغیر در مدل‌سازی استفاده شدند.

مدل‌سازی

به‌منظور پیش‌بینی پراکنش رویشگاه‌های مطلوب گون زرد از بسته نرم‌افزاری Biomod2 (٤٤) در محیط R استفاده شد. در مطالعه حاضر از مدل‌های آنتروپی بیشینه (Maxent)، شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، روش افزایشی تعمیم‌یافته (GBM)، مدل خطی تعمیم‌یافته (GLM)، تحلیل ممیزی انعطاف‌پذیر (FDA)، جنگل تصادفی (RF) و رگرسیون چند متغیره تطبیقی (مارس) برای برآورد رویشگاه‌های مطلوب استفاده شد. رویکرد پیش‌بینی اجماعی می‌تواند الگوی قوی‌تری ایجاد کند و بر عدم قطعیت‌های ناشی از تفسیر نتایج از مدل‌های فردی غلبه کند (٢٤). به علت این‌که تمامی مدل‌های مورداستفاده به داده‌های زمینه‌ای (مانند نقاط عدم حضور کاذب) نیاز دارند، به‌صورت تصادفی تعداد نقطه زمینه‌ای برابر با نقاط حضور گونه در گستره موردمطالعه و در خارج از سلول‌های حضور ایجاد شد. برای بالا بردن دقت و کارایی مدل، هرکدام از مدل‌ها با ۱۰ بار تکرار انجام شد. برای واسنجی مدل‌ها، ۸۰ درصد نقاط حضور به‌عنوان داده‌های تعلیمی و ۲۰ درصد باقیمانده برای ارزیابی پیش‌بینی مدل‌ها استفاده شدند. عملکرد مدل‌ها با استفاده از ناحیه زیر منحنی (AUC) و آماره TSS ارزیابی شدند (٥). سطح مشارکت (اهمیت) متغیرهای مختلف در مدل‌های توزیع گونه برآورد شد. درنهایت، مدل تلفیقی با استفاده از متوسط وزن مدل‌های انفرادی برای تمامی ارزش‌های ارزیابی‌شده اجرا شد (٤٤). به‌منظور برآورد اثر تغییر اقلیم بر توزیع جغرافیایی گونه موردمطالعه، ابتدا از یک سطح بحرانی (بر اساس معیار ROC) (٤٤) برای طبقه‌بندی نقشه مطلوبیت رویشگاه به دوطبقه مطلوب و نامطلوب استفاده شد. سپس، وسعت رویشگاه‌های جدید و رویشگاه‌های نامناسب شده به دلیل تغییر اقلیم در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ در سناریوهای مختلف برآورد

شدند. تمامی نقشه‌ها با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تهیه شدند.

مدل‌های گردش عمومی ابزارهایی قابل‌اعتماد و قدرتمند برای افزایش درک عوامل مؤثر بر اقلیم و بهبود توانایی پیش‌بینی الگوهای اقلیمی آینده هستند (۳۳). در این مطالعه، از مدل MRI-CGCM3 (موسسه تحقیقات هواشناسی، ژاپن) استفاده شد. این مدل به‌عنوان یکی از بهترین مدل‌ها برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی منطقه‌ای در ایران پیشنهادشده است و دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌های گردش عمومی به‌منظور شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در سراسر کشور دارد (۱ و ۱۷). RCP_s (Representative Concentration Pathways) سناریوهای تغییر اقلیم هستند که به‌منظور استفاده در ورودی مدل گردش عمومی جو تدوین‌شده‌اند و نشان‌دهنده روند غلظت‌های مختلف گازهای گلخانه‌ای شامل دی‌اکسیدکربن، بخارآب، اکسیدهای ازت، متان و ازن هستند که این روندها در گزارش ارزیابی پنجم در سال ۲۰۱٤ پذیرفته‌شده‌اند (۳۳). در این مطالعه از چهار سناریو RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 استفاده شد. مدل اجماعی به‌منظور پیش‌بینی توزیع آینده گون زرد در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ بر اساس چهار سناریوی افزایش گازهای گلخانه‌ای ذکرشده و مدل گردش عمومی MRI-CGCM3 تهیه شد.

نتایج

مدل‌ها بر اساس معیار TSS (>۰/۷۱) در رتبه‌های خوب تا عالی قرار گرفتند. همچنین، بر اساس شاخص AUC (>۰/۸۷)، همه مدل‌ها با درجه خوب تا عالی ارزیابی شدند (جدول ۱). مدل‌های جنگل تصادفی، افزایشی تعمیم‌یافته و شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب بالاترین ارزش‌های AUC و TSS را به خود اختصاص دادند. بر اساس نتایج حاصل از مدل‌سازی اجماعی، در حدود ۲۷/٤۳ درصد (٤۵۳۵/۳۷ کیلومترمربع) از مساحت استان چهارمحال و بختیاری می‌تواند به‌عنوان رویشگاه مطلوب گون زرد در نظر گرفته شود. شکل ۲ رویشگاه‌های مطلوب امروزی گون زرد را بر اساس رویکرد اجماعی مدل‌های مختلف در استان چهارمحال و بختیاری نشان می‌دهد.

جدول۱. برآورد سطح زیر منحنی (AUC) و TSS در مدل‌های مختلف اجراشده

Table 1. Estimation of the area under curve (AUC) and the true skill statistic (TSS) in different performed models

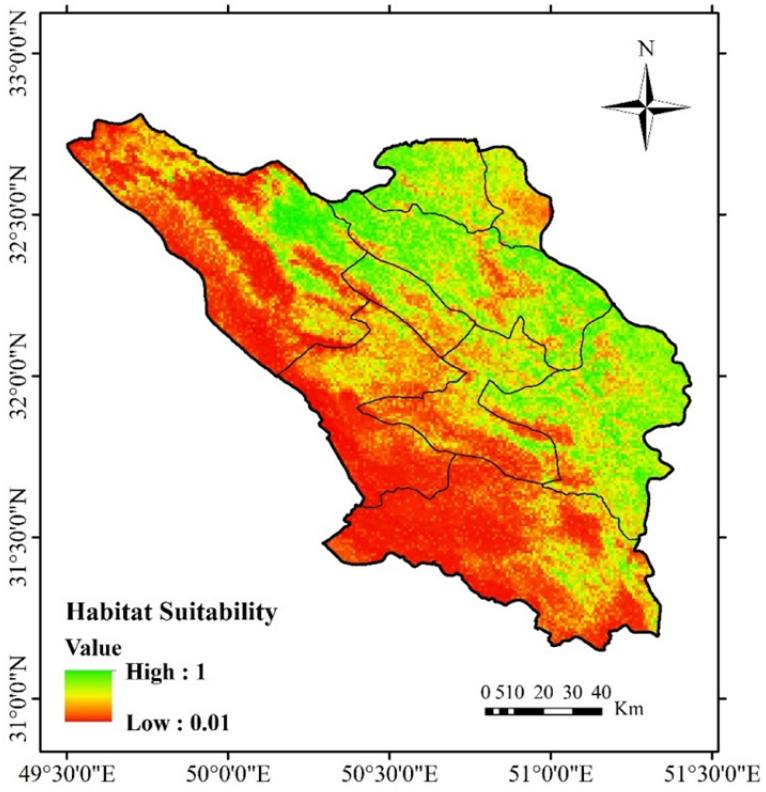
میانگین Avrage	MARS	FDA	GBM	ANN	MaxEnt	GLM	RF	شاخص‌ها Model parameters
0.92	0.90	0.87	0.98	0.95	0.87	0.88	0.99	AUC
0.79	0.71	0.60	0.97	0.83	0.74	0.67	0.98	TSS

سهم نسبی هر یک از متغیرهای واردشده به مدل در پیش‌بینی مناطق مطلوب برای حضور گونه‌گون زرد نشان داد که به ترتیب، شاخص هم‌دمایی، میانگین دمای پربارش‌ترین فصل سال، تغییرات فصلی بارندگی، مجموع بارندگی سالانه، مجموع بارندگی کم‌بارش‌ترین فصل سال و تغییرات فصلی دما بیشترین سهم را در تعیین مطلوبیت رویشگاه گونه‌گون زرد داشتند (جدول ۲). شاخص هم‌دمایی، میانگین دمای پربارش‌ترین فصل سال و تغییرات فصلی بارندگی، با همدیگر در حدود ٤۷ درصد تغییرات پراکنش گونه را توجیه نمودند و بیشترین سهم را در تعیین مطلوبیت رویشگاه گونه داشتند. بیشترین احتمال حضور گون زرد در هم‌دمایی ۳٦/۸ تا ۳۹/۷ درجه سانتی‌گراد، میانگین دمای ۲- تا ۳/۵ درجه سانتی‌گراد در پربارش‌ترین فصل سال، تغییرات فصلی بارندگی ۱۰۰ تا ۱۱۲ میلی‌متر، و مجموع بارندگی سالیانه ۲۸۰ تا ٤۹۰ میلی‌متر برآورد شد (شکل ۳). کمینه و بیشینه ارتفاع حضور گونه موردمطالعه به ترتیب ۱٦۵٤ و۳۰۵۲ متر از سطح دریا است.

جدول۲. متغیرهای مورداستفاده در مدل‌سازی رویشگاه‌های مطلوب گون زرد و اهمیت نسبی آن‌ها

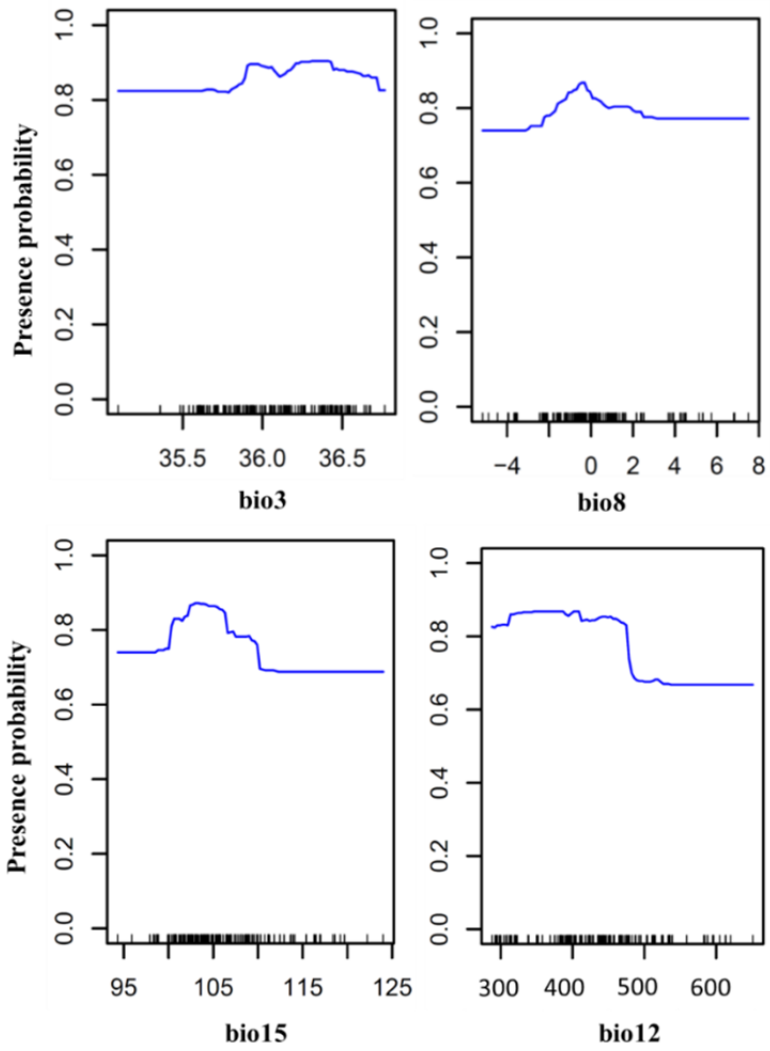
Table 2. The variables used to modelling of the suitable habitat of *A. verus* and relative importance of them

اهمیت نسبی Relative importance	عنوان Abbreviation and description	متغیرهای محیطی Variables
17.86	Bio3-Isothermality (BIO2/BIO7) (* 100)	شاخص هم‌دمایی
15.06	Bio8- Mean Temperature of the Wettest Quarter	میانگین دمای پربارش‌ترین فصل سال
14.11	Bio15- Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)	تغییرات فصلی بارندگی
12.64	Bio12- Annual Precipitation	مجموع بارندگی سالانه
12.25	Bio17- Precipitation of the Driest Quarter	مجموع بارندگی کم‌بارش‌ترین فصل سال
12.23	Bio4- Temperature Seasonality (standard deviation *100)	تغییرات فصلی دما
7.51	Aspect	جهت جغرافیایی
4.66	Slope	شیب
3.68	Land cover/Land use	پوشش /کاربری سرزمین



شکل۲. نقشه رویشگاه مطلوب امروزی گونه‌گون زرد در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از رویکرد اجماعی

Fig 2. current suitable habitat of A. verus in Chaharmahal and Bakhtiari province using an ensemble approach



شکل۳. احتمال حضور گونه‌گون زرد در امتداد متغیرهای مؤثر بر اساس مدل RF در استان چهارمحال و بختیاری

Fig 3. Figure 3. probability of as.verus presence along effective variables based on RF model in Chaharmahal and Bakhtiari province

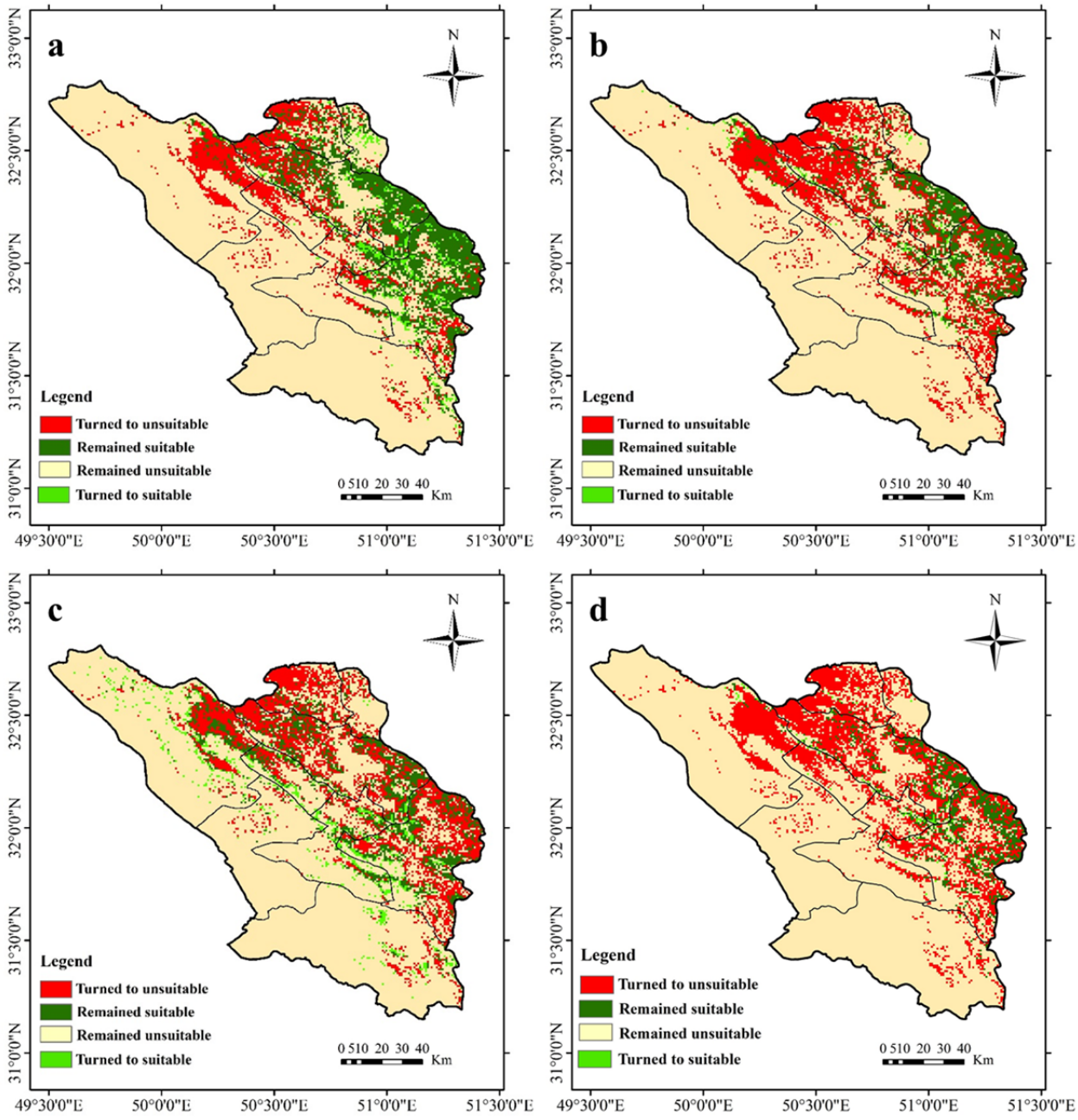
نتایج تحقیق نشان داد که تغییر اقلیم می‌تواند پیامدهای قابل‌توجهی بر رویشگاه‌های مطلوب گون زرد در استان وارد سازد. بر اساس سناریوهای مختلف، بین ٤٥/٧٠ درصد (RCP2.6، سال ۲۰۵۰) تا ۸۹/۸۸ درصد (RCP8.5، سال ۲۰۷۰) از رویشگاه‌های امروزی گون زرد تا سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ به‌واسطه تغییر اقلیم نامطلوب خواهد شد (جدول ۳). بر اساس تمامی سناریوها، رویشگاه‌های مطلوب این‌گونه در اغلب گستره حضورش به‌ویژه در مناطق با ارتفاع کمتر کاهش خواهد یافت. درحالی‌که در همین دوره زمانی در حدود ۱/۵۸ (RCP8.5، سال ۲۰۷۰) تا ۱۳/۱۹ درصد (RCP2.6، سال ۲۰۷۰) به رویشگاه‌های مطلوب این‌گونه در مناطق با ارتفاع بیشتر اضافه خواهد شد. بر اساس مدل‌های گردش عمومی و سناریوهای مختلف، مدل اجماعی پیش‌بینی می‌کند که گستره‌های جدید به‌ویژه در ارتفاع‌های بالا به رویشگاه‌های مطلوب اضافه خواهد شد (شکل‌های ٤ و ٥، جدول ۳). به‌طور خلاصه، نرخ خالص از دست رفتن رویشگاه مطلوب گون زرد

در آینده بین ۳٤/٦۲ درصد (RCP2.6، سال ۲۰۷۰) تا ۸۸/۳۰ درصد (RCP8.5، سال ۲۰۷۰) برآورد شد. بر اساس یافته‌ها، سناریو RCP8.5 نسبت به سه سناریوی دیگر اثرات شدیدتری بر گستره رویشگاه‌های مطلوب گون زرد در منطقه موردمطالعه خواهد داشت. تمامی سناریوهای تغییر اقلیمی، جابجایی رویشگاه‌های مطلوب گون زرد را به سمت ارتفاعات بالاتر به‌طور میانگین در حدود ۹۲/۷٦ متر پیش‌بینی نمودند. بر این اساس، میانگین ارتفاع رویشگاه‌های مطلوب امروزی گونه ۲۳٤٦/۷٦ متر بود که پیش‌بینی می‌شود به ۲٤۳۹/۵۲ متر در آینده جابجا شود.

جدول۳. تغییر در وسعت رویشگاه‌های مطلوب (کیلومترمربع) گون زرد تا سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ تحت سناریوهای اقلیمی مختلف و مدل گردش عمومیMRI-CGCM3

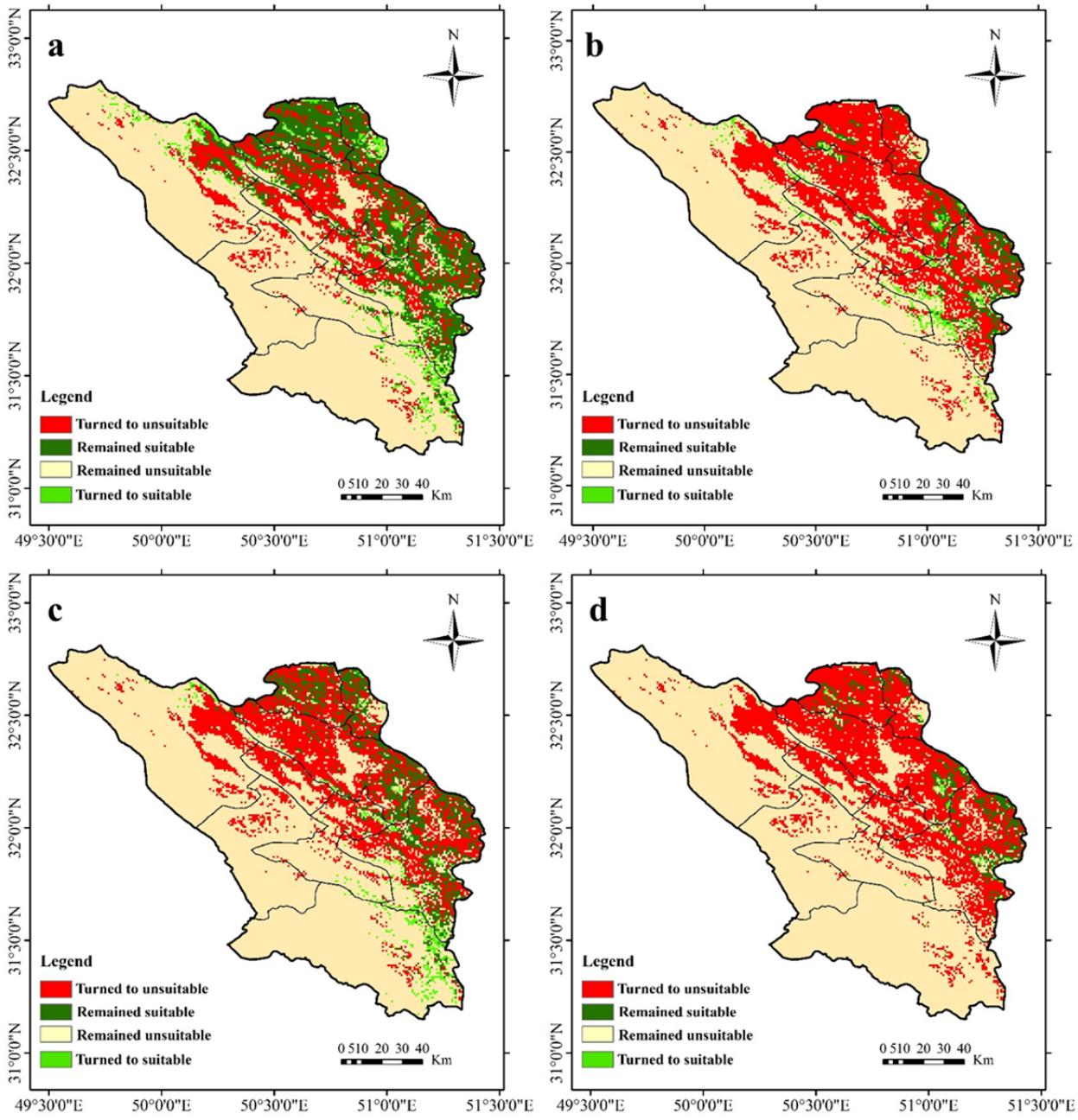
Table 3. Changes in the area of suitable habitat of *A. verus* (km^2) by 2050 and 2070 under different climate change scenarios, within the general circulation models MRI- CGCM3

تغییرات در رویشگاه (درصد) Habitat change (%)	رویشگاه جدید Habitat gain		رویشگاه ازدست‌رفته Habitat loss		غیاب پایدار Stable absence (km^2)	حضور پایدار Stable presence (km^2)	سناریو Scenario
	درصد (٪)	مساحت (km^2)	درصد (٪)	مساحت (km^2)			
سال ۲۰۵۰							
-36.15	9.55	432.95	45.70	2072.45	11563.68	2462.91	سناریو RCP2.6
-68.16	2.67	120.88	70.83	3212.34	11875.80	1323.03	سناریو RCP4.5
-52.64	12.53	568.48	65.18	2955.94	11428.20	1579.43	سناریو RCP6
-77.52	1.78	80.58	79.29	3596.21	11916.10	939.16	سناریو RCP8.5
سال ۲۰۷۰							
-34.62	13.19	1582.00	47.81	2168.40	10414.64	2366.96	سناریو RCP2.6
-79.92	6.49	778.22	86.40	3918.65	11218.41	616.72	سناریو RCP4.5
-34.62	6.86	778.22	72.19	3274.26	11173.78	1261.10	سناریو RCP6
-88.30	1.58	189.43	89.88	4076.30	11807.20	459.07	سناریو RCP8.5



شکل۴. تغییر در رویشگاه‌های مطلوب گون زرد از شرایط اقلیمی امروزی تا آینده (سال ۲۰۵۰) حاصل از مدل اجماعی و بر اساس مدل گردش عمومی MRI-CGCM3 با چهار سناریو: الف) RCP2.6، ب) RCP4.5، پ) RCP6، ت) RCP8.5

Fig. 5. Changes in the suitable habitat of *A. verus* from current climatic conditions to future climatic conditions (year 2050) resulting from ensemble model and based on general circulation model (MRI-CGCM3) with four RCP scenarios RCP2.6 (a), RCP4.5 (b), RCP6 (c), and RCP8.5 (d)



شکل۵. تغییر در رویشگاه‌های مطلوب گون زرد از شرایط اقلیمی امروزی تا آینده (سال ۲۰۷۰) حاصل از مدل اجماعی و بر اساس مدل گردش عمومی MRI-CGCM3 با چهار سناریو: الف) RCP2.6، ب) RCP4.5، پ) RCP6، ت) RCP8.5

Fig 5. Changes in the suitable habitat of *A. verus* from current climatic conditions to future climatic conditions (year 2070) resulting from ensemble model and based on general circulation model (MRI-CGCM3) with four RCP scenarios RCP2.6 (a), RCP4.5 (b), RCP6 (c), and RCP8.5 (d)

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، رویشگاه‌های مطلوب امروزی گون زرد در محدوده استان چهارمحال و بختیاری در گستره زاگرس مرکزی مدل‌سازی شد و برآوردهایی از پیامدهای تغییر اقلیم تا سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ بر پراکنش این‌گونه به دست آمد. بر اساس یافته‌ها، در حدود ۲۷/۴۳ درصد (۴۵۳۵/۳۷ کیلومترمربع) از مساحت استان چهارمحال و بختیاری به‌عنوان رویشگاه مطلوب گون زرد برآورد شد. به نظر می‌رسد

بخش‌های شمال شرقی و شرق استان (ازجمله شهرستان‌های بروجن، شهرکرد، بن) در مقایسه با سایر مناطق از اهمیت رویشگاهی بیشتری برای گون زرد برخوردار هستند. البته باید عنوان نمود که در مطالعه حاضر، آشیان اکولوژیک بالقوه اقلیمی گون زرد تعیین‌شده است که می‌تواند از آشیان اکولوژیک واقعی این‌گونه متفاوت باشد. به‌هرحال، عوامل اقلیمی ممکن است به‌عنوان مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده احیاء و گسترش جمعیت‌های طبیعی، بر زیستایی این جمعیت‌ها اثرگذار باشند (۵۰).

بر اساس یافته‌ها، پیش‌بینی می‌شود که بخش وسیعی از رویشگاه‌های مطلوب امروزی گون زرد به‌ویژه در مناطق با ارتفاع کمتر به‌واسطه تغییر اقلیم تا سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰، نامطلوب خواهد شد. بر اساس سناریوهای مختلف اقلیمی، بین ٤٥/٧٠ درصد (RCP2.6، سال ۲۰۵۰) تا ۸۹/۸۸ درصد (RCP8.5، سال ۲۰۷۰) از رویشگاه‌های امروزی گون زرد به‌واسطه تغییر اقلیم نامطلوب می‌شود. احتمالاً در همین دوره زمانی در حدود ۱/۵ درصد (سناریو RCP8.5 سال ۲۰۷۰) تا ۱۳ درصد (سناریو RCP2.6 سال ۲۰۷۰) به رویشگاه‌های مطلوب (با توجه به شرایط اقلیمی) این‌گونه به‌ویژه در مناطق با ارتفاع بالاتر افزوده خواهد شد. بر اساس یافته‌ها، سناریو RCP8.5 نسبت به سه سناریوی دیگر اثرات شدیدتری بر گستره رویشگاه‌های مطلوب گون زرد خواهد داشت. این موضوع با توجه به‌شدت تغییرات اقلیمی در این سناریو قابل پیش‌بینی بود. علاوه بر تغییر اقلیم، عوامل دیگری همچون بهره‌برداری غیراصولی، تغییر کاربری سرزمین و آتش‌سوزی نیز به‌شدت بر بقا و پایداری این‌گونه گیاهی تأثیر می‌گذارند. به‌طورکلی، مجموعه سناریوهای مورداستفاده در این پژوهش بر احتمال رخداد یک‌روند مشخص کاهشی در گستره رویشگاهی گون زرد تا سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ اشاره دارند. بااین‌وجود، همانند مطالعه وی و همکاران (٤٧)، نتایج برخی سناریوها (سناریوی RCP6 در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰) روند یکسانی را در کاهش میزان گستره رویشگاهی مطلوب گونه موردمطالعه نشان نمی‌دهند، که این نتایج ممکن است تحت تأثیر عوامل مختلفی حاصل‌شده باشند. ازجمله این عوامل می‌توان به نقش متغیرهای محیطی مورداستفاده در مدل‌ها به‌عنوان یک منبع عدم قطعیت اشاره نمود. علاوه بر این، مدل‌های اقلیمی IPCC به‌طور مبهم بر ادامه روند گرمایش جهانی اشاره دارند، اما عدم قطعیت‌ها درباره میزان و سرعت این روند بسیار زیاد است (۳۰ و ٤٧).

تمامی سناریوهای تغییر اقلیم، احتمال جابجایی گستره رویشگاه‌های مناسب گون زرد را به سمت ارتفاعات بالاتر در حدود ۹۲/۷٦ متر پیش‌بینی می‌کنند. علت این جابجایی، به تأثیرگذاری شرایط اقلیمی (بارندگی و دما) بر رویشگاه گون زرد مربوط است که باعث می‌شود مناطق کم ارتفاع‌تر برای این‌گونه نامناسب شود (۷، ۱۰، ۱۳ و ۲٦). پیامدهای تغییر اقلیم، به‌ویژه احتمال کاهش و جابجایی گستره جغرافیایی گونه‌های گیاهی در رویشگاه‌های مختلف کشور، ازجمله در زاگرس مرکزی در رابطه با گونه‌های *Astragalus adscendens*، (۲۱)، *Bromus tomentellus* (٤١)، *Quercus brantii* (۲۳) *Pistacia atlantica* (۳۱) و همچنین، در گستره ایران مرکزی در رابطه با گونه‌های *Daphne mucronata* (۲) و *Astragalus gossypinus* (٤۳) پیش‌بینی‌شده است.

بر اساس یافته‌ها، مدل جنگل تصادفی و پس‌ازآن مدل افزایشی تعمیم‌یافته بهترین پیش‌بینی را داشتند و قابل‌اعتمادترین مدل‌ها برای پیش‌بینی پراکنش گون زرد تعیین شدند. مطالعات قبلی نیز بر قابلیت بالای مدل جنگل تصادفی در مقایسه با مدل‌های دیگر در مدل‌سازی پراکنش گونه‌ای تأکید نموده‌اند (۱۰، ۱۱، ١٤، ۱۸، ۲۲ و ۲۹).

تعیین درصد سهم هر متغیر در مدل، به محققان این امکان را می‌دهد تا متغیرهایی را که دارای تأثیر بیشتری بر احتمال وقوع گونه‌های مختلف گیاهی هستند، مورد شناسایی قرار دهند. بنابراین، محققان قادر خواهند بود با صرفه‌جویی در هزینه و زمان ، دقت مدل‌های پیش‌بینی را افزایش داده و تنها بر متغیرهای مهم متمرکز شوند (۲۳). بر اساس تحلیل‌ها، شاخص هم‌دمایی، میانگین دمای پربارش‌ترین فصل سال و تغییرات فصلی بارندگی بیشترین مشارکت نسبی را در عملکرد

مدل اجماعی داشتند. در پژوهش‌های متعدد، عوامل دمایی به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پراکنش گونه موردمطالعه شناسایی‌شده‌اند (۳، ۹، ۲۲ و ۳۲). خداقلی و صبوحی (۲۸)، تغییرات اقلیمی و تأثیر آن بر رویشگاه‌های گون زرد در استان اصفهان را موردمطالعه قراردادند. این محققان دمای سرمایشی را مهم‌ترین عامل مؤثر بر رویشگاه‌های گون زرد پیشنهاد نمودند. همچنین ساکی و همکاران (۳۹) دما را مهم‌ترین عامل محیطی مؤثر در پراکنش گون زرد دانستند. ترکش و جتشکه (٤۳) نیز در مدل‌سازی اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر گونه *A. gossypinus* میانگین دمای پربارش‌ترین فصل سال را به‌عنوان عامل مهمی در پراکنش گونه موردمطالعه در ایران مرکزی پیشنهاد نمودند. همچنین، اثر دما بر تولید کتیرای جنس گون موردبررسی قرارگرفته و نتایج نشان داده که کاهش رطوبت و افزایش حرارت محیط اثر نامطلوبی بر تولید کتیرای استحصالی از گونه‌های گون دارد و حتی موجب عدم تولید کتیرا در بعضی از گونه‌های مولد می‌شود (٤۹).

بر اساس یافته‌ها، احتمال وقوع گونه‌گون زرد در میانگین دمای پربارترین فصل سال ۲- تا ۳/۵ درجه سانتی‌گراد، تغییرات فصلی بارندگی ۱۰۰ تا ۱۱۲ میلی‌متر، هم‌دمایی ۳٦/۸ تا ۳۹/۷ درجه سانتی‌گراد و مجموع بارندگی سالیانه ۲۸۰ تا ٤۹۰ میلی‌متر حداکثر است. وهابی و همکاران (٤٦) در مطالعه خود در استان اصفهان، حداقل بارندگی رویشگاه گون زرد را ۱۰۰ میلی‌متر گزارش نمودند. صفایی و همکاران (۳۷) میانگین بارندگی سالانه رویشگاه‌های گون زرد در مراتع شهرستان فریدون‌شهر استان اصفهان را از ۳۹۵ میلی‌متر تا حداکثر ٥٥٤ میلی‌متر تعیین نمودند. همچنین، این محققان، شرایط مطلوب رویشگاهی گون زرد را شامل میانگین دمای پربارش‌ترین فصل سال بین ۰/۹- تا ۱/۱٤ درجه سانتی‌گراد، تغییرات فصلی بارندگی ۲٦/۵۸ تا ٤۹ میلی‌متر و هم‌دمایی ۱۹/۵۳ تا ۲۳/۵٦ درجه سانتی‌گراد گزارش نمودند. کمینه و بیشینه ارتفاع حضور گونه موردمطالعه به ترتیب ۱٦٥٤ و ۳۰٥۲ متر از سطح دریا برآورد شد. وهابی و همکاران (٤٦) نیز دامنه ارتفاعی گونه‌گون زرد در مراتع استان اصفهان را ۱٥۰۰ تا ۳۰۰۰ میلی‌متر ذکر نمودند.

به‌طورکلی، این مطالعه نشان می‌دهد که مدل اجماعی می‌تواند پراکنش بالقوه گون زرد را با دقت بالا پیش‌بینی نماید. سناریوهای مورداستفاده در این پژوهش، احتمال جابجایی گستره جغرافیایی گونه موردمطالعه را تحت تغییر اقلیم تا سال‌های ۲۰٥۰ و ۲۰۷۰ پیش‌بینی می‌کند. بر اساس نتایج، به نظر می‌رسد که وسعت رویشگاه مطلوب گون زرد در محدوده موردمطالعه، کاهش‌یافته و به سمت ارتفاعات بالاتر جابجا خواهد شد. اگرچه تخریب سرزمین و برداشت بیش‌ازحد احتمالاً به‌عنوان دو عامل مهم تخریب رویشگاه این‌گونه می‌توانند موردتوجه قرار گیرند (۳۷)، اما این مطالعه اهمیت پیامدهای تغییر اقلیم بر پراکنش گون زرد را برجسته می‌سازد. امروزه، درنتیجه بهره‌برداری شدید و غیراصولی از گون زرد، گستره پراکنش و تراکم آن در برخی مناطق کاهش‌یافته است که این روند برشدت پدیده‌هایی نظیر فرسایش خاک افزوده است. این موضوع ضرورت توجه مدیران و کارشناسان منابع طبیعی به گون زرد و دیگرگونه‌های با عملکرد مشابه در اکوسیستم‌ها که ضمن توانایی حفاظت از خاک، ازنظر تولیدات اقتصادی نیز حائز اهمیت هستند را دوچندان می‌نماید. نقشه‌های رویشگاه مطلوب امروزی و آینده برای گون زرد که در این پژوهش تهیه‌شده می‌تواند در تدوین و اجرای برنامه‌ها و طرح‌های مدیریتی و حفاظتی این‌گونه و سایر گونه‌های مشابه مورد استفاده قرار گیرد. مناطقی که در این مطالعه به‌عنوان رویشگاه مناسب تعیین شدند می‌توانند برای استقرار و معرفی مجدد گون زرد موردتوجه قرار گیرند.

References

1. Abbasian M, Moghim S, Abrishamchi A. 2019. Performance of the general circulation models in simulating temperature and precipitation over Iran. Theoretical and Applied Climatology, 135(3): 1465-1483. doi:https://doi.org/10.1007/s00704-018-2456-y.
2. Abolmaali MR, Tarkesh M, Bashari H. 2018a. MaxEnt modeling for predicting suitable habitats and identifying the effects of climate change on a threatened species, *Daphne mucronata*, in central Iran. Ecological Informatics, 43: 116-123. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2017.10.002.

3. Abolmaali MR, Tarkesh M, Bashari H. 2017b. Assessing impacts of climate change on endangered *Kelossia odoratissima* Mozaff species distribution using Generalized Additive Model. Journal of Natural Environment, 70(2): 243-254. (In Persian)
4. Ahmad R, Khuroo AA, Charles B, Hamid M, Rashid I, Aravind NA. 2019. Global distribution modelling, invasion risk assessment and niche dynamics of *Leucanthemum vulgare* (Ox-eye Daisy) under climate change. Scientific Reports, 9(1): 1-15. doi:https://doi.org/10.1038/s41598-019-47859-1.
5. Ali Akbari M, Jafari MR, Saadatfar A. 2011. Determining Potential Site for *Astragalus verus* with Combination of GIS and Remote Sensing. Journal of RS and GIS for Natural Resources, 1(1): 15-29. (In Persian)
6. Allouche O, Tsoar A, Kadmon R. 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). Journal of Applied Ecology 43: 1223–1232. doi:https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x.
7. Al-Qaddi N, Vessella F, Stephan J, Al-Eisawi D, Schirone B. 2016. Current and future suitability areas of kermes oak (*Quercus coccifera* L.) in the Levant under climate change. Regional Environmental Change, 17: 143-156. doi:https://doi.org/10.1007/s10113-016-0987-2.
8. Amici V, Marcantonio M, La Porta N, Rocchini D. 2017. A multi-temporal approach in MaxEnt modelling: A new frontier for land use/land cover change detection. Ecological Informatics, 40: 40-49. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2017.04.005.
9. Amiri M, Tarkesh M, Jafari R. 2019. Predicting the Climatic Ecological Niche of Artemisia aucheri Boiss in Central Iran using Species Distribution Modeling. Iranian Journal of Applied Ecology, 8(2): 61-79. (In Persian)
10. Ashrafzadeh MR, Naghipour AA, Haidarian M, Khorozyan I. 2019a. Modeling the response of an endangered flagship predator to climate change in Iran. Mammal Research, 64(1): 39-51. doi:10.1007/s13364-018-0384-y.
11. Ashrafzadeh MR, Naghipour AA, Haidarian M, Kusza S, Pilliod DS. 2019b. Effects of climate change on habitat and connectivity for populations of a vulnerable, endemic salamander in Iran. Global Ecology and Conservation, 19: e00637. doi:https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00637.
12. Attorre F, Abeli T, Bacchetta G, Farcomeni A, Fenu G, De Sanctis M, Gargano D, Peruzzi L, Montagnani C, Rossi G, Conti F, Orsenigo S. 2018a. How to include the impact of climate change in the extinction risk assessment of policy plant species? Journal for Nature Conservation, 44: 43-49. doi:https://doi.org/10.1016/j.jnc.2018.06.004.
13. Attorre F, Alfò M, De Sanctis M, Francesconi F, Valenti R, Vitale M, Bruno F. 2011b. Evaluating the effects of climate change on tree species abundance and distribution in the Italian peninsula. Applied Vegetation Science, 14(2): 242-255. doi:https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2010.01114.x.
14. Benito Garzón M, Sánchez de Dios R, Sainz Ollero H. 2008. Effects of climate change on the distribution of Iberian tree species. Applied Vegetation Science, 11(2): 169-178. doi:https://doi.org/10.3170/2008-7-18348.
15. Borna F, Tamartash R, Tatian M, Gholami V. 2017. Habitat potential modeling of *Astragalus gossypinus* using ecological niche factor analysis and logistic regression (Case study: summer rangelands of Baladeh, Nour), Journal of RS and GIS for Natural Resources, 7(4): 45-61. (In Persian)
16. Byeon D-h, Jung S, Lee W-H. 2018. Review of CLIMEX and MaxEnt for studying species distribution in South Korea. Journal of Asia-Pacific Biodiversity, 11(3): 325-333. doi:https://doi.org/10.1016/j.japb.2018.06.002.
17. Chahouki MAZ, Sahragard HP. 2016. Maxent modelling for distribution of plant species habitats of rangelands (Iran). Polish Journal of Ecology, 64(4): 453-467. doi:https://doi.org/10.3161/15052249PJE2016.64.4.002.
18. Cheng L, Lek S, Lek-Ang S, Li Z. 2012. Predicting fish assemblages and diversity in shallow lakes in the Yangtze River basin. Limnologica, 42(2): 127-136. doi:https://doi.org/10.1016/j.limno.2011.09.007.
19. Ghahremaninejad F, Bagheri A, Maassoumi AA. 2012. Two new species of Astragalus L. sect. Incani DC.(Fabaceae) from the Zanjan province (Iran). Adansonia, 34(1): 59-65. doi:https://doi.org/10.5252/a2012n1a6.
20. Guisan A, Zimmermann NE. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. Ecological Modelling, 135(2): 147-186. doi:https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00354-9.
21. Haidarian, M. 2018. Predicting the impact of climate change on spatial distribution of ecologically important plant species In the Central Zagros. Ph.D. thesis of Rangeland Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, 250p. (In Persian)
22. Haidarian Aghakhani M, Tamartash R, Jafarian Z, Tarkesh Esfahani M, Tatian M. 2017a. Forecasts of climate change effects on *Amygdalus scoparia*

23. potential distribution by using ensemble modeling in Central Zagros. Journal of RS and GIS for Natural Resources, 8(3): 1-14. (In Persian)
24. Haidarian Aghakhani M, Tamartash R, Jafarian Z, Tarkesh Esfahani M, Tatian M. 2017b. Predicting the impacts of climate change on Persian oak (*Quercus brantii*) using species distribution modelling in Central Zagros for conservation planning. Journal of Environmental Studies, 43: 497-511. (In Persian)
25. Hao T, Elith J, Guillera-Arroita G, Lahoz-Monfort JJ. 2019. A review of evidence about use and performance of species distribution modelling ensembles like BIOMOD. Diversity and Distributions, 25(5): 839-852. doi:https://doi.org/10.1111/ddi.12892.
26. Hodd RL, Bourke D, Skeffington MS. 2014. Projected range contractions of European protected oceanic montane plant communities: focus on climate change impacts is essential for their future conservation. PloS one, 9(4). doi:https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095147.
27. Hutchinson GE. 1957. Cold spring harbor symposium on quantitative biology. Concluding remarks, 22: 415-427.
28. Kaky E, Gilbert F. 2016. Using species distribution models to assess the importance of Egypt's protected areas for the conservation of medicinal plants. Journal of Arid Environments, 135: 140-146. doi:https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.09.001.
29. Khodagholi M, Saboohi R. 2019. Delineating changes in climatic variables and its impact on the *Astragalus verus* Olivier habitats in Isfahan Province. Journal of Range and Watershed Management, 72(2): 359-374. (In Persian)
30. Lin CT. Chiu CA. 2019. The Relic *Trochodendron aralioides* Siebold & Zucc.(Trochodendraceae) in Taiwan: Ensemble distribution modeling and climate change impacts. Forests, 10(1): 7. https://doi.org/10.3390/f10010007.
31. McSweeney CF, Jones RG, Lee RW, Rowell DP. 2015. Selecting CMIP5 GCMs for downscaling over multiple regions. Climate Dynamics, 44: 3237-3260. https://doi.org/10.1007/s00382-014-2418-8.
32. Naghipour AA, Haidarian M, Sangoony H. 2019a. Predicting the impact of climate change on the distribution of *Pistacia atlantica* in the Central Zagros. Journal of Plant Ecosystem Conservation, 6(13): 197-214. (In Persian)
33. Naghipour AA, Ostovar Z, Asadi E. 2019b. The Influence of Climate Change on distribution of an Endangered Medicinal Plant (*Fritillaria Imperialis* L.) in Central Zagros. Journal of Rangeland Science, 9(2): 159-171.
34. Pachauri RK, Allen MR, Barros V, Broome J, Cramer W, Christ R, Church J, Clarke L, Dahe Q, Dasgupta P. 2014. Climate change 2014: synthesis Report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, IPCC, 153p.
35. Potta S. 2004. Application of Stochastic Downscaling Techniques to Global Climate Model Data for Regional Climate Prediction, MSc. Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, Sri Venkateswara University, 153p.
36. Rana SK, Rana HK, Ghimire SK, Shrestha KK, Ranjitkar S. 2017. Predicting the impact of climate change on the distribution of two threatened Himalayan medicinal plants of Liliaceae in Nepal. Journal of Mountain Science, 14: 558-570. https://doi.org/10.1007/s11629-015-3822-1.
37. Rios J, Waterman P. 1997. A review of the pharmacology and toxicology of *Astragalus*. Phototherapy Research, 11: 411-418. https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1573(199709).
38. Safaei M, Tarkesh M, Bashari H, Bassiri M. 2018. Modeling potential habitat of Astragalus verus Olivier for conservation decisions: A comparison of three correlative models. Flora, 242: 61-69. doi:https://doi.org/10.1016/j.flora.2018.03.001.
39. Sahragard HP, Chahouki MAZ. 2015. An evaluation of predictive habitat models performance of plant species in Hoze soltan rangelands of Qom province. Ecological Modelling, 309-310: 64-71. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.04.005.
40. Saki M, Tarkesh M, Bassiri M, Vahabii M R. 2013. Application of Logistic Regression Tree Model in Determining Habitat Distribution of *Astragalus verus*. Iranian Journal of Applied Ecology, 2013: 1 (2) :27-38. (In Persian)
41. Sangoony H, Karimzadeh H, Vahabi M, Tarkesh esfahani M. 2014a. Determining the potential habitat of *Astragalus gossypinus* Fischer in west region of Isfahan, using ecological niche factor analysis. Journal of RS and GIS for Natural Resources, 5(2: 1-13. (In Persian)
42. Sangoony H, Vahabi MR, Tarkesh M, Soltani S. 2016b. Range shift of Bromus tomentellus Boiss. as a reaction to climate change in Central Zagros, Iran. Applied Ecology and Environmental Research, 14(4): 85-100. doi:https://dx.doi.org/10.15666/aeer/1404_085100.
43. Silvertown J. 2004. Plant coexistence and the niche. Trends in Ecology & Evolution, 19(11): 605-611. doi:https://doi.org/10.1016/j.tree.2004.09.003.
44. Tarkesh M, Jetschke G. 2016. Investigation of current and future potential distribution of Astragalus gossypinus in Central Iran using species distribution modelling. Arabian Journal of

Geosciences, 9(1): 80. doi:10.1007/s12517-015-2071-5.
45. Thuiller W, Georges D, Engler R, Breiner F, Georges MD, Thuiller CW. 2016. Package 'Biomod2'. https://cran.r-project.org/package=biomod2.
46. Tilman D, Lehman C. 2001. Human-caused environmental change: impacts on plant diversity and evolution. Proceedings of the National Academy of Sciences, 98(10): 5433-5440.
47. Vahabi MR, Basiri M, Moghadam MR, Masoumi AA. 2007. Determination of the most effective habitat indices for evaluation of tragacanth sites in Isfahan Province. Iranian Journal of Natural Resources, 59:1013-1029. (In Persian)
48. Wei B, Wang R, Hou K, Wang X, Wu W. 2018. Predicting the current and future cultivation regions of Carthamus tinctorius L. using MaxEnt model under climate change in China. Global Ecology and Conservation, 16: e00477. doi:https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00477.
49. Woodward FI. 1987. Climate and Plant Distribution. Cambridge University Press, Cambridge. 174p.
50. Zarinkamar F. 1996. Investigation of anatomical and ecological characteristics of 14 species of *Astragalus spp*. Research Institute of Range and Forest, 98p.
51. Zhang X, Li G, Du S. 2018. Simulating the potential distribution of Elaeagnus angustifolia L. based on climatic constraints in China. Ecological Engineering, 113: 27-34. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.01.009.

RS & GIS for Natural Resources
(Vol. 11/ Issue 2) Summer 2020
Indexed by ISC, SID, Magiran, Noormags, Civilica, Google Scholar
journal homepage : www.girs.iaubushehr.ac.ir

Predicting the effects of the climate change on the geographical distribution of *Astragalus verus* Olivier in the Central Zagros region

Sima Teimoori Asl, Ali Asghar Naghipour, Mohammad Reza Ashrafzadeh, Maryam Haidarian Aga Khani

Received: 13 March 2020/ Accepted: 6 May 2020
Available online 5 July 2020

Abstract

Background and Objective Climate, soil characteristics, topography, land use, and biological relationships at various scales are the most important influencing factors on distribution and ecological niches of species. The climate is one of the most important determinants of plant distribution. Therefore throughout the past ecological history, climate change has had profound consequences on the current conditions of the world's ecosystems, including the existing distribution of species. Changes in the distribution of one species in a given geographical area due to the climate change can lead to shifting the presence regions of that species toward higher elevation that leads up to vegetative restriction or even extinction of the species. Shifting, or changing the geographical distribution of species is a strategy to be resistant to the climate change. Therefore, in order to protect the key ecological and valuable plant species, it is necessary to determine suitable habitats via identifying the most important environmental and human factors affecting the species presence in the current and future conditions. *Astragalus* L. (Fabaceae) is a genus widely distributed throughout the temperate regions. The *Astragalus verus* Olivier is a small, valuable shrub with many branches. In addition to its protective role from the point of view of the soil, this species has medicinal and industrial values. In recent decades, the geographical range of the *A. verus* variety has been significantly declined due to factors such as land degradation and over utilization. Despite the national importance of the *Astragalus* genus, so far little research has been done on the consequences of the climate change on the distribution of species of this genus. The present study was conducted to accomplish the following objectives; 1) To identify suitable habitats and determin the geographical distribution of *A. verus* in Central Zagros in the current situation; 2) to predict of the consequences of climate change by 2050 and 2070 under different scenarios on geographical distribution of A. verus; 3) to determin the most important factors affecting the distribution of this species. distribution of A. verus; 3) to determin the most important factors affecting the distribution of this species.

Materials and Methods This study was carried out in Chaharmahal and Bakhtiari province in an area about 1.65 million hectare thai is totally located in Central Zagros region. Extensive field studies were integrated to collect geographical coordinates of the presence point (112 points) of this species by using Global Positioning System (GPS) throughout Chaharmahal and Bakhtiari province. Bioclimatic (bio1–bio19), Physiographic variables (elevation, aspect, and slope) and land cover/land variables were used for modeling. Before modeling, two methods of Pearson correlation analysis and Variance Inflation Factor (VIF) were used to check out the correlation between the various environmental variables. In order to model, 19 environmental variables including bioclimatic variables, physiography and land cover / land use were

S. Teimoori Asl [1], A.A. Naghipour(✉) [2], M.R. Ashrafzadeh [3], M. Haidarian [4]

1. MSc. Student of Range Management, Faculty of Natural Resources and Earth Science, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
2. Assistant Professor, Department of Natural Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
3. Assistant Professor, Department of Fisheries and Environmental, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
4. PhD. of Rangeland Sciences, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
e-mail: aa.naghipour@nres.sku.ac.ir

applied to model the distribution based on correlation analysis. Variables with Pearson's correlation coefficient, $r^2<\pm0.8$, VIF<3) were selected. Finally and after the omission of the layers having high correlation, nine variables were used for modeling. In order to predict the distribution of the suitable habitats of the *Astragalus verus* Olivier, Biomad2 software package in R environment (3.1.2 version) was used. In this study, ensemble methods including Maximum Entropy (MaxEnt), Artificial Neural Network (ANN), Generalized Boosting Method (GBM), the Generalized Linear Model (GLM), Flexible Discriminant Analysis (FDA), Random Forest (RF) and Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS) were used to estimate the suitable habitats. We used 80% of the occurrence points as training data for model calibration and 20% of the rest of the data set to evaluate the predition of the models. Prediction of the geographical distribution of the *Astragalus verus* Olivier in the future (years 2050 and 2070) was made based on four scenarios of the increase in the greenhouse gases (Representative Concentration Pathways; RCPs) RCP2.6, RCP4.5, RCP6, RCP8.5 in general circulation model MRI-CGCM3. Model performance was assessed by using the area under the receiver operating curve (AUC) and the true skill statistic (TSS).

Results and Discussion Our results revealed that the most effective variables in desirability of the study species habitat were the isothermality, mean temperature of the wettest season of the year and seasonal precipitation variables respectively. In keeping with the findings, the *Astragalus verus* Olivier mostly exists in habitats with Isothermality (bio3) from + 36.8 to + 39.7 °C, Mean Temperature of the Wettest season of the year (bio8) from - 2 to + 3.5 °C, and seasonal precipitation variables (bio15) from 100 to 112 mm and the Annual Precipitation of 280 mm to 490 mm. Based on the results of modeling of current conditions, in comparison to the other regions, northeast and east of the province had the most habitat importance for the *Astragalus verus* Olivier. Our findings show that about 27.43% of the study area was identified as suitable habitats for the *Astragalus verus* Olivier. Prediction of the geographical distribution of the *Astragalus verus* Olivier in the future (years 2050 and 2070) was made based on four scenarios of the increase in the greenhouse gases (Representative Concentration Pathways; RCPs) RCP2.6, RCP4.5, RCP6, RCP8.5 in general circulation model MRI-CGCM3. Based on the future projections were made for the year 2050 and 2070 with four Representative Concentration Pathways (RCPs) scenario (2.6, 4.5, 6 and 8.5) and general circulation model MRI-CGCM3. In keeping with our findings, climate change can have significant consequences for the *Astragalus verus* Olivier suitable habitats in the study area. Based on various senarios, about 45.70 percent (year 2050, RCP2.6) to 89.88 percent (year 2070, RCP8.5) of the current habitats for the *Astragalus verus* Olivier will be unsuitable due to the climate change by 2050 and 2070. While in the same period of time, about 1.58 (RCP8.5, 2050) to 13.19 percent (RCP2.6, 2070) may be added to the suitable habitats of this species in areas with higher elevation. According to all scenarios, the suitable habitats of this species will decrease in all habitats, especially in areas with lower elevation. The climate change consequences especially the probability of decling and shifting the geographical range of the plant species in various habitats of Iran especially in the central Zagros and also in Central Iran range are predicted. Assessments showed that the models had acceptable accuracy and Random Forest model was determined as the most reliable model to predict the distribution of this species.

Conclusion Generally, this study indicated that ensemble model might predict the potential distribution of the *Astragalus verus* Olivier with a relatively high accuracy (AUC= 0.92 and TSS= 0.79). The scenarios used in this study predict the probability of the shift of the geographical range of the studied species under climate change scenarios of 2050 and 2070. According to the results, it seems that the suitable habitat extent of the *Astragalus verus* Olivier in the study area has been decreased and will shit toward the higher elevation. Although land degradation and over utilization may be considered as two important factors in habitat degradation of this species but this study highlights the importance the effects of climate change on the distribution of the *Astragalus verus* Olivier. As a result of the severe and inappropriate harvest of the *Astragalus verus* Olivier, the range of its distribution and density has decreased in some areas, which has increased the intensity of phenomena such as soil erosion. This issue requires a double attention of the managers and experts of natural resources to the *Astragalus verus* Olivier and the other species with similar performance in ecosystems having importance from the view point of economic productivity as well as their ability to conserve the soil.

Keywords Chaharmahal va Bakhtiari province, Species distribution modeling, Representative concentration pathways (RCPs), Ensemble modeling